

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5363394号
(P5363394)

(45) 発行日 平成25年12月11日 (2013.12.11)

(24) 登録日 平成25年9月13日 (2013.9.13)

(51) Int. Cl.	F I
GO 2 B 26/00 (2006.01)	GO 2 B 26/00
GO 1 J 3/26 (2006.01)	GO 1 J 3/26
GO 1 B 7/30 (2006.01)	GO 1 B 7/30 D

請求項の数 4 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2010-78214 (P2010-78214)	(73) 特許権者	000000376
(22) 出願日	平成22年3月30日 (2010.3.30)		オリンパス株式会社
(65) 公開番号	特開2011-209575 (P2011-209575A)		東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号
(43) 公開日	平成23年10月20日 (2011.10.20)	(74) 代理人	100065824
審査請求日	平成25年2月27日 (2013.2.27)		弁理士 篠原 泰司
		(74) 代理人	100104983
			弁理士 藤中 雅之
		(72) 発明者	若井 浩志
			東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 オリンパス株式会社内
		審査官	河原 正

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可変分光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

間隔を隔てて対向するように配置された一对の光学基板と、各々が前記一对の光学基板の対向する面の夫々に配置された一对の電極部を有して各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を検出する第1乃至第4静電容量センサと、前記一对の光学基板の少なくとも一方を他方に対して相対的に移動させて前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を変化させる第1乃至第4アクチュエータを備えた可変分光素子において、

前記第1静電容量センサと第3静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されており、

前記第2静電容量センサと第4静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されており、

前記第1乃至第4アクチュエータの各々が、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心から前記第1乃至第4静電容量センサの各々の中心方向へ伸びる線上に配置されており、

前記第1乃至第4静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心同士の間隔を算出し、前記第1静電容量センサによる信号と前記第3静電容量センサによる信号とから前記重心を結んだ線に垂直な面と移動させる前記光学基板の前記対向する面とがなす第1の角度を算出し、前記第2静電容量センサによる信号と前記第4静電容量センサによる信号とから前記重心を結んだ線に垂直な面と移動させる前記光学基板

10

20

の前記対向する面とがなす第 2 の角度を算出し、前記重心同士の間隔及び前記第 1 の角度に基づいて前記第 1 及び第 3 アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔及び前記第 2 の角度に基づいて前記第 2 及び第 4 アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔、前記第 1 の角度及び前記第 2 の角度についてフィードバック制御を行うとともに、前記重心同士の間隔、前記第 1 の角度又は前記第 2 の角度の少なくとも一つについてフィードフォワード制御を行う制御部を備えていることを特徴とする可変分光素子。

【請求項 2】

前記フィードバック制御が、P I D 制御であり、

前記フィードフォワード制御が、入力値を 2 階微分した値と、入力値の微分値に前記アクチュエータの減衰定数を乗算し前記可変分光素子の移動部分の質量で除算した値と、入力値に前記アクチュエータのバネ定数を乗算し前記可変分光素子の移動部分の質量で除算した値との和を、前記アクチュエータのバネ定数を前記可変分光素子の移動部分の質量で除算した値で除算した値を出力値として出力する制御であることを特徴とする請求項 1 に記載の可変分光素子。

【請求項 3】

前記フィードバック制御が、P I D 制御であり、

前記フィードフォワード制御が、入力値 \underline{p} に対し、

$$y(t) = (d^2 \underline{p} / dt^2 + B \cdot d \underline{p} / dt + C \cdot \underline{p}) / A$$

という出力値を出力する制御であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の可変分光素子。

ただし、 $A = 4k/m$ (k は前記アクチュエータのバネ定数、 m は前記可変分光素子の移動部分の質量)、 $B = 4c/m$ (c は前記アクチュエータのバネ定数が k 、前記可変分光素子の移動部分の質量を m として信号を入力した場合に前記可変分光素子の移動部分の振動の減衰から求められる定数)、 $C = 4k/m$ である。

【請求項 4】

間隔を隔てて対向するように配置された一对の光学基板と、各々が前記一对の光学基板の対向する面の夫々に配置された一对の電極部を有して各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を検出する第 1 乃至第 4 静電容量センサと、前記一对の光学基板の少なくとも一方を他方に対して相対的に移動させて前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を変化させる第 1 乃至第 4 アクチュエータを備えた可変分光素子において、

前記第 1 静電容量センサと第 3 静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されており、

前記第 2 静電容量センサと第 4 静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されており、

前記第 1 乃至第 4 静電容量センサと前記第 1 乃至第 4 アクチュエータとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて交互に等角度となるように配置されており、

前記第 1 乃至第 4 静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心同士の間隔を算出し、前記第 1 乃至第 4 の静電容量センサによる信号から求めた第 1 及び第 3 アクチュエータの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の値を用いて前記重心を結んだ線に垂直な面と移動させる前記光学基板の前記対向する面とがなす第 1 の角度を算出し、前記第 1 乃至第 4 の静電容量センサによる信号から求めた第 2 及び第 4 アクチュエータの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の値を用いて前記重心を結んだ線に垂直な面と移動させる前記光学基板の前記対向する面とがなす第 2 の角度を算出し、前記重心同士の間隔、前記第 1 の角度及び前記第 2 の角度に基づいて前記第 1 乃至第 4 アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔、前記第 1 の角度及び前記第 2 の角度についてフィードバック制御を行うとともに、前記重心同士の間隔、前記第 1 の角度又は前記第 2 の角度の少なくとも一つについてフィードフォワード制御を行う制御部を備えていることを特徴とする可変分光素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、可変分光素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来から、空間を隔てて対向するように配置された一对の光学基板のいずれか一方又は両方を、ピエゾ素子のようなアクチュエータを用いて移動させることにより、それらの光学基板の対向する面同士又はその面上に形成された反射膜同士の面間隔（以下、総称して「光学基板の面間隔」という。）を変化させ、光学特性を変化させることのできる可変分光素子として、エタロン装置と制御部とを備えたものが知られている（例えば、特許文献1参照。）。

10

【0003】

また、このような可変分光素子においては、光学基板の面間隔を所望の間隔とするために、対向する面上にその面間隔を測定するための静電容量センサを配置し、その静電容量センサにより所定のサンプリング周期で現在の面間隔を測定し、測定した面間隔と所望の面間隔との比較を行い、その比較の結果に基づいてアクチュエータを駆動させて面間隔の調整を行うものが知られている（例えば、特許文献2参照。）。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0004】

【特許文献1】特開2008-129149号公報

【特許文献2】特開平6-241899号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、特許文献1、2に記載されているような可変分光素子は、例えば、分光特性を連続的に変化させた画像の取得を行う分光内視鏡装置等において用いるときのように、連続的且つ高速に光学特性を変化させなければならない場合、画像取得のサンプリング周期の1フレームという極めて短い時間内に、アクチュエータを制御して光学基板の面間隔を変化させなければならない。

30

【0006】

また、特許文献1、2に記載されているような可変分光素子の光学特性は、一对の光学基板の対向する面同士又はその面上に形成された反射膜同士の平行度に大きく影響を受けるため、アクチュエータの制御は正確なものでなければならない。

【0007】

しかし、特許文献1、2に記載されているような可変分光素子のように、光学基板の面間隔と対向する面の平行度を4つの静電容量センサからの出力値に基づいて制御しようとする場合、アクチュエータ同士の相互の干渉を考慮して4つのアクチュエータを制御する必要がある。そして、そのような演算処理は複雑であるため、制御に時間がかかり、光学特性の変化を高速にすることができないという問題があった。

40

【0008】

本発明は、このような従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、高速且つ正確に光学特性を変化させることのできる可変分光素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記の目的を達成するために、本発明の可変分光素子は、間隔を隔てて対向するように配置された一对の光学基板と、各々が前記一对の光学基板の対向する面の夫々に配置された一对の電極部を有して各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同

50

士の面間隔を検出する第1乃至第4静電容量センサと、前記一对の光学基板の少なくとも一方を他方に対して相対的に移動させて前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を変化させる第1乃至第4アクチュエータを備えた可変分光素子において、前記第1静電容量センサと第3静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されており、前記第2静電容量センサと第4静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されており、前記第1乃至第4アクチュエータの各々が、前と前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心から前記第1乃至第4静電容量センサの各々の中心方向へ伸びる線上に配置されており、前記第1乃至第4静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心同士の間隔を算出し、前記第1静電容量センサによる信号と前記第3静電容量センサによる信号とから前記重心を結んだ線に垂直な面と移動させる前記光学基板の前記対向する面とがなす第1の角度を算出し、前記第2静電容量センサによる信号と前記第4静電容量センサによる信号とから前記重心を結んだ線に垂直な面と移動させる前記光学基板の前記対向する面とがなす第2の角度を算出し、前記重心同士の間隔及び前記第1の角度に基づいて前記第1及び第3アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔及び前記第2の角度に基づいて前記第2及び第4アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔、前記第1の角度及び前記第2の角度についてフィードバック制御を行うとともに、前記重心同士の間隔、前記第1の角度又は前記第2の角度の少なくとも一つについてフィードフォワード制御を行う制御部を備えていることを特徴とする。

【0010】

また、本発明の可変分光素子は、前記フィードバック制御が、PID制御であり、前記フィードフォワード制御が、入力値を2階微分した値と、入力値の微分値に前記アクチュエータの減衰定数を乗算し前記可変分光素子の移動部分の質量で除算した値と、入力値に前記アクチュエータのバネ定数を乗算し前記可変分光素子の移動部分の質量で除算した値との和を、前記アクチュエータのバネ定数を前記可変分光素子の移動部分の質量で除算した値で除算した値を出力値として出力する制御であることが好ましい。

具体的には、前記フィードバック制御が、PID制御であり、前記フィードフォワード制御が、入力値 p に対し、

$$y(t) = (d^2 p / dt^2 + B \cdot dp / dt + C \cdot p) / A$$

という出力値を出力する制御であることが好ましい。

ただし、 $A = 4k/m$ (k は前記アクチュエータのバネ定数、 m は前記可変分光素子の移動部分の質量)、 $B = 4c/mc$ は前記アクチュエータのバネ定数が k 、前記可変分光素子の移動部分の質量を m として信号を入力した場合に前記可変分光素子の移動部分の振動の減衰から求められる定数)、 $C = 4k/m$ である。

【0011】

また、上記の目的を達成するために、本発明の可変分光素子は、間隔を隔てて対向するように配置された一对の光学基板と、各々が前記一对の光学基板の対向する面の夫々に配置された一对の電極部を有して各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を検出する第1乃至第4静電容量センサと、前記一对の光学基板の少なくとも一方を他方に対して相対的に移動させて前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を変化させる第1乃至第4アクチュエータを備えた可変分光素子において、前記第1静電容量センサと第3静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されており、前記第2静電容量センサと第4静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されており、前記第1乃至第4静電容量センサと前記第1乃至第4アクチュエータとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて交互に等角度となるように配置されており、前記第1乃至第4静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心同士の間隔を算出し、前記第1乃至第4の静電容量センサによる信号から求めた第1及び第3アク

チュエータの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の値を用いて前記重心を結んだ線に垂直な面と移動させる前記光学基板の前記対向する面とがなす第1の角度を算出し、前記第1乃至第4の静電容量センサによる信号から求めた第2及び第4アクチュエータの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の値を用いて前記重心を結んだ線に垂直な面と移動させる前記光学基板の前記対向する面とがなす第2の角度を算出し、前記重心同士の間隔、前記第1の角度及び前記第2の角度に基づいて前記第1乃至第4アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔、前記第1の角度及び前記第2の角度についてフィードバック制御を行うとともに、前記重心同士の間隔、前記第1の角度又は前記第2の角度の少なくとも一つについてフィードフォワード制御を行う制御部を備えていることを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、高速且つ正確に光学特性を変化させることのできる可変分光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】実施例1に係る可変分光素子のエタロン装置を示す断面図である。

【図2】図1のエタロン装置の平面図である。

【図3】図1のエタロン装置の一对の光学基板及び4つのピエゾ素子の作動を示す模式図である。

20

【図4】実施例1に係る可変分光素子の制御回路を示すブロック図である。

【図5】実施例1に係る可変分光素子の制御部の行う演算を示すブロック図である。

【図6】図1のエタロン装置の応答特性を示すグラフであり、(a)は従来の可変分光素子により制御した場合のグラフ、(b)は本実施例の可変分光素子により制御された場合のグラフである。

【図7】図1のエタロン装置の応答特性を示すグラフであり、(a)はフィードバック制御のみを行った場合のグラフ、(b)はフィードバック制御及びフィードフォワード制御を行った場合のグラフである。

【図8】図1のエタロン装置の第1の変形例を示す平面図である。

【図9】図1のエタロン装置の第2の変形例を示す平面図である。

30

【図10】図1のエタロン装置の第3の変形例を示す平面図である。

【図11】図1のエタロン装置の第4の変形例を示す断面図である。

【図12】実施例2に係る可変分光素子のエタロン装置を示す断面図である。

【図13】図12のエタロン装置の平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明の実施例について、図面を用いて詳細に説明する。

【実施例1】

【0015】

図1～図7を用いて、本発明に係る可変分光素子の第1の実施例について説明し、その後、図8～図11を用いて4つの変形例について説明する。

40

【0016】

なお、図1は、本実施例に係る可変分光素子のエタロン装置を示す断面図である。図2は、図1のエタロン装置の平面図である。図3は、図1のエタロン装置の一对の光学基板及び4つのピエゾ素子の作動を示す模式図である。図4は、本実施例に係る可変分光素子の制御回路を示すブロック図である。図5は、実施例1に係る可変分光素子の制御部の行う演算を示すブロック図である。図6は、図1のエタロン装置の応答特性を示すグラフであり、(a)は従来の可変分光素子により制御した場合のグラフ、(b)は本実施例の可変分光素子により制御された場合のグラフである。図7は、図1のエタロン装置の応答特性を示すグラフであり、(a)はフィードバック制御のみを行った場合のグラフ、(b)

50

はフィードバック制御及びフィードフォワード制御を行った場合のグラフである。図 8 は、図 1 のエタロン装置の第 1 の変形例を示す平面図である。図 9 は、図 1 のエタロン装置の第 2 の変形例を示す平面図である。図 10 は、図 1 のエタロン装置の第 3 の変形例を示す平面図である。図 11 は、図 1 のエタロン装置の第 4 の変形例を示す断面図である。

【0017】

本実施例に係る可変分光素子は、図 1 及び図 2 に示すエタロン装置と、不図示の制御部とによって構成されている。

【0018】

まず、図 1 及び図 2 を用いて、この可変分光素子のエタロン装置について説明する。

【0019】

このエタロン装置は、図 1 及び図 2 に示すように、外枠 1 の内部に、一对の光学基板 2 と、一对の光学基板 2 の対向する面同士の間隔の測定手段である静電容量センサと、一对の光学基板 2 の一方の基板を移動させるためのアクチュエータであり不図示の制御部により駆動を制御されるピエゾ素子を備えている。

【0020】

外枠 1 は、筒状部材 1₁ の端面の一方に環状部材 1₂ を、他方に環状部材 1₃ を取り付け構成されている。

【0021】

また、環状部材 1₂、1₃ には、その略中央部に、円形の開口部 1_{2a}、1_{3a} が形成されているが、このエタロン装置では、その開口部 1_{2a}、1_{3a} を光が通過する。

【0022】

一对の光学基板 2 は、対向する面が空間を隔てて互いに平行となるように配置されている固定基板 2₁ と可動基板 2₂ とからなっている。それらのうち、固定基板 2₁ は、外枠 1 の内部において開口部 1_{2a}、1_{3a} を通過する光の軸を横切るようにして外枠 1 の環状部材 1₂ に固定された円板状の光学部材である。一方、可動基板 2₂ は、開口部 1_{2a}、1_{3a} を通過する光を横切るようにしてピエゾ素子に保持された円板状の光学部材である。

【0023】

このような一对の光学基板 2 は、可動基板 2₂ が、開口部 1_{2a}、1_{3a} を通過する光の軸に沿う方向、すなわち、一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向に、ピエゾ素子によって移動させられることにより、対向する面の間隔が変化し得るようになっている。

【0024】

第 1 静電容量センサ 3₁、第 2 静電容量センサ 3₂、第 3 静電容量センサ 3₃、第 4 静電容量センサ 3₄ は、それぞれ、一对の電極 3₁₁ と 3₁₂、3₂₁ と 3₂₂、3₃₁ と 3₃₂、3₄₁ と 3₄₂ からなっている。そして、それらの一对の電極は、一对の光学基板 2 の対向する面上であって外枠 1 の開口部 1_{2a}、1_{3a} を通過する光を遮らない位置に、互に対向するようにして配置されている。

【0025】

そして、これらの静電容量センサは、電極間の静電容量が面間隔に反比例して変化する特性を利用している。そして、このエタロン装置では、これらの静電容量センサにより取得した値を光学基板 2 の面間隔値に変換し不図示の制御部へ出力している。

【0026】

第 1 ピエゾ素子 4₁、第 2 ピエゾ素子 4₂、第 3 ピエゾ素子 4₃、第 4 ピエゾ素子 4₄ は、それぞれ、外枠 1 の内部において開口 1_{2a}、1_{3a} を通過する光を遮らないようにして外枠 1 の環状部材 1₃ に固定されている。

【0027】

なお、第 1 ピエゾ素子 4₁ は第 1 静電容量センサ 3₁ と、第 2 ピエゾ素子 4₂ は第 2 静電容量センサ 3₂ と、第 3 ピエゾ素子 4₃ は第 3 静電容量センサ 3₃ と、第 4 ピエゾ素子 4₄ は第 4 静電容量センサ 3₄ と、一对の光学基板 2 の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、重なる位置に配置されている。

10

20

30

40

50

【0028】

また、第1静電容量センサ 3_1 及び第1 piezo素子 4_1 と、第3静電容量センサ 3_3 及び第3 piezo素子 4_3 とは、一对の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、その重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されている。

【0029】

一方、第2静電容量センサ 3_2 及び第2 piezo素子 4_2 と、第4静電容量センサ 3_4 及び第4 piezo素子 4_4 とは、一对の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、その重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されている。

【0030】

つまり、第1静電容量センサ 3_1 及び第1 piezo素子 4_1 と、第2静電容量センサ 3_2 及び第2 piezo素子 4_2 と、第3静電容量センサ 3_3 及び第3 piezo素子 4_3 と、第4静電容量センサ 3_4 及び第4 piezo素子 4_4 とは、一对の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、等間隔に配置されている。

10

【0031】

次に、図3を用いて、本実施例に係る可変分光素子のエタロン装置における可動基板 2_2 の動作及びその制御について説明する。

【0032】

図3に示すように、固定基板 2_1 に対して可動基板 2_2 を移動させて一对の光学基板2の面間隔を x_0 にしようとする場合、従来のエタロン装置においては、一对の光学基板2の面間隔が目標値 x_0 となるように、第1静電容量センサ 3_1 の出力値に基づいて第1静電容量センサ 3_1 の配置位置における面間隔が目標値 x_0 となるように第1 piezo素子 4_1 を駆動させ、同様に、第2静電容量センサ 3_2 の出力値に基づいて第2 piezo素子 4_2 を、第3静電容量センサ 3_3 の出力値に基づいて第3 piezo素子 4_3 を、第4静電容量センサ 3_4 の出力値に基づいて第4 piezo素子 4_4 を駆動させていた。

20

【0033】

しかし、そのような制御では、例えば、第1 piezo素子 4_1 を正確に駆動させて第1静電容量センサ 3_1 の配置位置における一对の光学基板2の面間隔を目標値 x_0 にしたとしても、その後、第1 piezo素子 4_1 に隣接するように配置されている第2 piezo素子 4_2 や第4 piezo素子 4_4 が駆動する際に生ずる干渉によって、目標値 x_0 に対して面間隔が変化してしまうことがあった。

30

【0034】

そこで、その解消方法としては、PID制御(Proportional Integral Derivative Control)などのフィードバック制御を採用する方法があるが、その場合、光学基板の面間隔が目標値 x_0 になるまでには長い時間が必要である。

【0035】

また、他の解消方法としては、各 piezo素子に対し、他の piezo素子等による干渉を事前に計算した値を指令値として与える方法があるが、その指令値の算出は非常に複雑になるため、同様に、一对の光学基板2の面間隔が目標値 x_0 になるまでには長い時間が必要である。

【0036】

40

そこで、本実施例に係る可変分光素子では、第1～第4静電容量センサ 3_1 、 3_2 、 3_3 、 3_4 による4つの出力値を、3つのパラメータに変換して演算を行い、第1～第4 piezo素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 の駆動を制御している。

【0037】

ここで、図3～図5を用いて、本実施例の可変分光素子の制御部の行う演算について詳細に説明する。

【0038】

本実施例の可変分光素子の制御部においては、図4に示すように、フィードバック制御とフィードフォワード制御とを組み合わせた制御を行っている。なお、フィードバック制御では指令値とセンサ出力値に基づいて出力値を決定し、フィードフォワード制御では指

50

令値のみに基づいて出力値を決定するように構成されている。フィードバック制御に加えてフィードフォワード制御を組み合わせることにより、フィードバック制御のみの場合と比較して、さらに光学基板の面間隔が収束するまでの時間を短くすることができるためである。

【 0 0 3 9 】

まず、本実施例の可変分光素子の制御部で行われるフィードバック制御について詳細に説明する。

【 0 0 4 0 】

本実施例の可変分光素子において、図 3 に示すように、固定基板 2₁ に対して可動基板 2₂ を移動させて一对の光学基板 2 の面間隔を x₀ にしようとする場合、まず、図 5 に示すように、制御部に目標値入力部 5₁ を介して、固定基板 2₁ の対向する面の重心 G₁ と可動基板 2₂ の対向する面の重心 G₂ との間隔の目標値 x₀、それらの重心同士を結んだ線に垂直な面と可動基板 2₂ の対向する面とがなす第 1 の角度の目標値 θ₁ 及び第 2 の角度の目標値 θ₂ を入力する。

【 0 0 4 1 】

次に、センサ出力変換部 5₂ が、第 1 ～ 第 4 静電容量センサ 3₁、3₂、3₃、3₄ により測定された各静電容量センサの配置位置における光学基板の面間隔 x₁、x₂、x₃、x₄ を取得するとともに、それらの面間隔 x₁、x₂、x₃、x₄ を、重心 G₁ と重心 G₂ との間隔の現在値 x、第 1 の角度の現在値 θ₁ 及び第 2 の角度の現在値 θ₂ に変換する。

【 0 0 4 2 】

具体的には、一对の光学基板 2 の対向する面の各々の重心同士の間隔 x は、以下の式により求められる。

$$x = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 4$$

【 0 0 4 3 】

また、一对の光学基板 2 の対向する面の重心を結んだ線に垂直な面と可動基板 2₂ の固定基板 2₁ と対向する面とがなす第 1 の角度 θ₁ 及び第 2 の角度 θ₂ については、既知の値である可動基板 2₂ の対向する面の重心 G₂ から第 1 ～ 第 4 静電容量センサ 3₁、3₂、3₃、3₄ の電極 3₁₂、3₂₂、3₃₂、3₄₂ の中心までの可動基板 2₂ の対向する面上における距離 r₃₁、r₃₂、r₃₃、r₃₄ を用いて、以下の式が成り立つ。

$$\sin \theta_1 = (x_3 - x_1) / (r_{31} + r_{33})$$

$$\sin \theta_2 = (x_4 - x_2) / (r_{32} + r_{34})$$

【 0 0 4 4 】

なお、本実施例においては、

$$r_{31} = r_{32} = r_{33} = r_{34} = r$$

であり、第 1 の角度 θ₁ 及び第 2 の角度 θ₂ はいずれも十分に小さいため、第 1 の角度 θ₁ 及び第 2 の角度 θ₂ は以下の式により求められる。

$$\theta_1 = (x_3 - x_1) / 2r$$

$$\theta_2 = (x_4 - x_2) / 2r$$

【 0 0 4 5 】

次に、差分値算出部 5₃ において、目標値入力部 5₁ を介して入力された目標値 x₀、θ₁₀、θ₂₀ と、センサ出力変換部 5₂ で変換された x、θ₁、θ₂ との、それぞれの差分値 e_x、e_{θ1}、e_{θ2} を算出する。

【 0 0 4 6 】

次に、指令値算出部 5₄ において、差分値算出部 5₃ で算出された差分値 e_x、e_{θ1}、e_{θ2} に基づいて P I D 制御を行い、指令値 x_c、θ_{1c}、θ_{2c} を求める。

【 0 0 4 7 】

次に、指令値変換部 5₅ において、指令値算出部 5₄ で求めた指令値 x_c、θ_{1c}、θ_{2c} を第 1 ～ 第 4 ピエゾ素子 4₁、4₂、4₃、4₄ のそれぞれに対する指令値 x_{c1}、x_{c2}、x_{c3}、x_{c4} に変換する。指令値 x_{c1}、x_{c2}、x_{c3}、x_{c4} はそれぞれ対応する第 1 ～ 第 4 ピエゾ素子 4₁、4₂、4₃、4₄ を駆動する図示しないピエゾ素子ドライバに入力され、このピエゾ素

10

20

30

40

50

子ドライバにより第 1 ~ 第 4 ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 のそれぞれに駆動電圧が印加される。

【 0 0 4 8 】

なお、第 1 ~ 第 4 ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 のそれぞれに対する指令値 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} については、可動基板 2₂ の対向する面の重心 G_2 から既知の値である第 1 ~ 第 4 ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 の中心までの可動基板 2₂ の対向する面上における距離 r_{41} 、 r_{42} 、 r_{43} 、 r_{44} を用いて、以下の式が成り立つ。

$$\begin{aligned} x_{d1} &= x_c - r_{41} \sin \theta_c \\ x_{d2} &= x_c - r_{42} \sin \theta_c \\ x_{d3} &= x_c + r_{43} \sin \theta_c \\ x_{d4} &= x_c + r_{44} \sin \theta_c \end{aligned}$$

10

【 0 0 4 9 】

また、本実施例においては、

$$r_{41} = r_{42} = r_{43} = r_{44} = r$$

であり、第 1 の角度についての指令値 θ_c 及び第 2 の角度についての指令値 ϕ_c はいずれも十分に小さいため、第 1 ~ 第 4 ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 のそれぞれに対する指令値 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} は以下の式により求められる。

$$\begin{aligned} x_{c1} &= x_d - r \cos \theta_c \\ x_{c2} &= x_d - r \cos \phi_c \\ x_{c3} &= x_d + r \cos \theta_c \\ x_{c4} &= x_d + r \cos \phi_c \end{aligned}$$

20

【 0 0 5 0 】

その後、第 1 ~ 第 4 ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 は、それぞれに対する指令値 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} に基づいてピエゾ素子ドライバにより印加される電圧により駆動され、可動基板 2₂ を移動させて、一对の光学基板 2 の面間隔 x を変化させる。

【 0 0 5 1 】

図 6 は、可変分光素子においてフィードバック制御を行った際のエタロン装置の応答特性に関する実験結果を示すグラフである。なお、縦軸は一对の光学基板の面間隔 (nm)、横軸は時間 (sec) であり、(a) は従来の変分光素子による実験結果、(b) は本実施例の変分光素子による実験結果である。なお、この実験においては、破線で示すように、0.02 秒ごとに目標値を切り替えて信号を入力している。

30

【 0 0 5 2 】

この図 6 からわかるように、本実施例の変分光素子は、従来の変分光素子に比べ、一对の光学基板の面間隔が収束するまでの時間が非常に短い。そのため、本発明の変分光素子は、連続的且つ高速に光学特性を変化させる場合であっても、正確に光学特性を変化させることができる。

【 0 0 5 3 】

次に、本実施例の変分光素子の制御部で行われるフィードフォワード制御について詳細に説明する。

【 0 0 5 4 】

本実施例の変分光素子のエタロン装置において、第 1 ~ 第 4 ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 により支持される可動基板 2₂ は、一对の光学基板の重心同士を結んだ線に沿う方向に対する並進運動と、第 1 の角度に関する回転運動と、第 2 の角度に関する回転運動の 3 自由度の三次元的な運動をする。

40

【 0 0 5 5 】

そして、それらの各運動に対して、エタロン装置は、その質量や材質から求められる固有の特性を有している。そこで、まず、各運動に対するエタロン装置の特性について説明する。

【 0 0 5 6 】

エタロン装置の並進運動についての特性である伝達関数 G_x を求める場合、まず、制御

50

的な考察をしやすくするために、可変分光素子の移動部分の質量を m とし、第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 を、それぞれバネ定数 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 を持つバネと減衰定数 c_{x1} 、 c_{x2} 、 c_{x3} 、 c_{x4} を持つダンパを結合したものとしてエタロン装置をモデル化する。

【0057】

なお、質量 m は、エタロン装置の外枠1に対して移動する第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 の質量及び可動基板 2_2 の質量によって決まる値であり、バネ定数 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 は、第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 及び可動基板 2_2 の構造及び材質に基づいた材料解析のシミュレーションにより求めることのできる定数であり、減衰定数 c_{x1} 、 c_{x2} 、 c_{x3} 、 c_{x4} は、質量 m 及びバネ定数 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 と信号を入力した際の可動基板 2_2 及び第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 の振動の状態とから求めることのできる定数である。

【0058】

このモデルに基づいて、並進運動についての運動方程式を立てると、

$$m \ddot{x} = F_x = f_1 + f_2 + f_3 + f_4$$

となる。なお、 \ddot{x} は質量 m の重心が固定端から x の距離にあるときの並進運動についての加速度、 F_x は質量 m の重心が固定端から x の距離にあるときの並進運動について質量 m に対して加わる力の大きさ、 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 はそれぞれ第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 の各々により発生する力の大きさである。

【0059】

ここで、一対の光学基板2の面間隔の目標値を u とすると、質量 m に対して第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 の各々により加えられる力 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 は、

$$f_1 = k_1 (u_1 - x_1) - c_{x1} \dot{x}_1$$

$$f_2 = k_2 (u_2 - x_2) - c_{x2} \dot{x}_2$$

$$f_3 = k_3 (u_3 - x_3) - c_{x3} \dot{x}_3$$

$$f_4 = k_4 (u_4 - x_4) - c_{x4} \dot{x}_4$$

となる。なお、 u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 は一対の光学基板2の面間隔が目標値 u となったときの固定端から第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 までの並進運動に沿う方向の距離、 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 は固定端から可動基板 2_2 の第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 の配置位置までの並進運動に沿う方向についての距離、 \dot{x}_1 、 \dot{x}_2 、 \dot{x}_3 、 \dot{x}_4 は可動基板 2_2 の第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 の配置位置における並進運動についての速度である。

【0060】

このとき、本実施例の可変分光素子のエタロン装置においては、

$$k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k$$

$$c_{x1} = c_{x2} = c_{x3} = c_{x4} = c_x$$

であるため、

$$f_1 = k (u_1 - x_1) - c_x \dot{x}_1$$

$$f_2 = k (u_2 - x_2) - c_x \dot{x}_2$$

$$f_3 = k (u_3 - x_3) - c_x \dot{x}_3$$

$$f_4 = k (u_4 - x_4) - c_x \dot{x}_4$$

となる。

【0061】

また、 x は固定端から可動基板 2_2 の重心 G_2 までの距離と等しいため、

$$x = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 4$$

となり、 \dot{x} は固定端から可動基板 2_2 の重心 G_2 が距離 x にあるときの速度と等しいため、

$$\dot{x} = (\dot{x}_1 + \dot{x}_2 + \dot{x}_3 + \dot{x}_4) / 4$$

となる。

【0062】

そして、これらをまとめると、

$$m \ddot{x} = F_x = k u_1 + k u_2 + k u_3 + k u_4 - 4 k x - 4 c_x \dot{x}$$

となる。

【0063】

ここで、

$$u = (u_1 + u_2 + u_3 + u_4) / 4$$

としてラプラス変換すると、

$$s^2 X = 4 k / m \cdot U_{1 \sim 4} - 4 k / m \cdot X - 4 c_x / m \cdot s X$$

となり、並進運動についての伝達関数 G_x は、

$$\begin{aligned} G_x &= X / U_{1 \sim 4} \\ &= (4 k / m) / (s^2 + 4 c_x / m \cdot s + 4 k / m) \\ &= A_x / (s^2 + B_x s + C_x) \end{aligned}$$

となる。

なお、 $A_x = 4 k / m$ (k はアクチュエータのバネ定数、 m はエタロン装置の移動部分の質量) は、エタロン装置の出入力特性の感度を表すパラメータである。 $B_x = 4 c_x / m$ (c_x はバネ定数が k 、質量が m のときに信号を入力したときの可動基板の振動の減衰から求められる定数) は、減衰特性を示すパラメータであり、このパラメータ値が大きいと減衰特性が良くなり振動が抑制される。 $C_x = 4 k / m$ は、振動の周波数に関連したパラメータであり、このパラメータ値が大きいと振動周期が短くなり立ち上がりが高速になる。

。

【0064】

同様に、エタロン装置の第1の角度に関する回転運動についての特性である伝達関数 G_1 、第2の角度に関する回転運動についての特性である伝達関数 G_2 は、

$$\begin{aligned} G_1 &= \theta_1 / U_{1,3} \\ &= (r k / J) / (s^2 + 2 c_1 / J \cdot s + 2 r^2 k / J) \\ &= A_1 / (s^2 + B_1 s + C_1) \\ G_2 &= \theta_2 / U_{2,4} \\ &= (r k / J) / (s^2 + 2 c_2 / J \cdot s + 2 r^2 k / J) \\ &= A_2 / (s^2 + B_2 s + C_2) \end{aligned}$$

となる。なお、 J は慣性モーメントであり、エタロン装置の外枠1に対して移動する第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 の質量及び可動基板 2_2 の質量によって決まる値である。また、減衰定数 c_1 、 c_2 は、慣性モーメント J 及びバネ定数 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 と信号を入力した際の可動基板 2_2 の振動の状態とから求めることのできる定数である。また、 A_1 、 A_2 はエタロン装置の出入力特性の感度を表すパラメータ、 B_1 、 B_2 は減衰特性を示すパラメータ、 C_1 、 C_2 は振動の周波数に関連したパラメータである。

【0065】

したがって、フィードフォワード制御を行わない場合、入力値 p に対する出力値 y 、つまりエタロン装置の挙動は、エタロン装置の持つ特性から導かれる伝達関数 G_x 、 G_1 、 G_2 (以下、総称して「伝達関数 G 」という。) が掛けられた

$$y = G \cdot p$$

となり、指令値と実際の動作とが一致しない。

【0066】

そこで、本実施例の可変分光素子においては、入力値とエタロンの挙動が一致するように以下のようにフィードフォワード制御を行う。

$$y = 1 / G \cdot G \cdot p$$

【0067】

ここで、 p に掛ける $1 / G$ は

$$1 / G = (s^2 + B s + C) / A$$

である。

【0068】

したがって、入力値 \underline{p} としたときにフィードフォワード制御が行われた出力値 y は次のようになる。

$$y(t) = (d^2 \underline{p} / dt^2 + B \cdot d \underline{p} / dt + C \cdot \underline{p}) / A$$

【0070】

また、本実施例の可変分光素子においては、フィードバック制御とフィードフォワード制御は、一対の光学基板の重心同士を結んだ線に沿う方向に対する並進運動と、第1の角度に関する回転運動と、第2の角度に関する回転運動のそれぞれについて別々に行われ、図4に示すようにFB制御器とFF制御器からの出力値を足し合わせて x 、 θ_1 の値として、図5に示す指令値変換部55に入力される。指令値変換部55は指令値 x_c 、 θ_{c1} 、 θ_{c2} を第1～第4ピエゾ素子41、42、43、44のそれぞれに対する指令値 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} に変換する。

10

【0071】

図7は、可変分光素子のエタロン装置の応答特性に関する実験結果を示すグラフである。なお、縦軸は一対の光学基板の面間隔 (nm)、横軸は時間 (sec) であり、(a) はフィードバック制御のみにより制御を行った場合の実験結果、(b) はフィードバック制御とフィードフォワード制御を組み合わせ制御を行った場合の実験結果である。なお、破線は入力信号を表している。

【0072】

この図7からもわかるように、フィードバック制御とフィードフォワード制御を組み合わせ制御を行った場合、フィードバック制御のみにより制御を行った場合に比べ、オーバーシュートが非常に小さく抑えられる。また、一対の光学基板の面間隔が収束する時間、具体的には、面間隔の距離が目標値の ± 3 nm 程度で安定するまでの時間が非常に短い。さらに、入力信号に対する反応速度も速い。そのため、本発明の可変分光素子は、連続的且つ高速に光学特性を変化させる場合であっても、正確に光学特性を変化させることができる。

20

【0073】

なお、本実施例においては、フィードバック制御とフィードフォワード制御を、一対の光学基板2の重心同士の間隔 x 、第1の角度 θ_1 及び第2の角度 θ_2 のいずれの制御においても行っているが、必ずしもそれら全てについて行う必要はなく、いずれか一つのみについて行っても良い。

30

【0074】

次に、図8～図11を用いて本実施例の可変分光素子のエタロン装置の変形例を示す。

【0075】

図8に示すエタロン装置は、上記実施例の可変分光素子のエタロン装置と異なり、第1静電容量センサ31及び第1ピエゾ素子41と、第2静電容量センサ32及び第2ピエゾ素子42と、第3静電容量センサ33及び第3ピエゾ素子43と、第4静電容量センサ34及び第4ピエゾ素子44とは、一対の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、等間隔に配置されていない。

【0076】

しかし、このような配置であっても、第1静電容量センサ31及び第1ピエゾ素子41と第3静電容量センサ33及び第3ピエゾ素子43、第2静電容量センサ32及び第2ピエゾ素子42と第4静電容量センサ34及び第4ピエゾ素子44が、一対の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、その重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されていれば、制御部において上記実施例の可変分光素子のエタロン装置と同様の演算を行って制御を行うことができる。

40

【0077】

図9及び図10に示すエタロン装置は、上記実施例の可変分光素子のエタロン装置と異なり、第1静電容量センサ31と第1ピエゾ素子41、第2静電容量センサ32と第2ピエゾ素子42、第3静電容量センサ33と第3ピエゾ素子43、第4静電容量センサ34と第4ピエゾ素子44が、一対の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向か

50

らみて、重ならない位置に配置されている。

【0078】

しかし、このような配置であっても、一对の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 の各々が、第1～第4静電容量センサ 3_1 、 3_2 、 3_3 、 3_4 の各々の中心方向へ伸びる線の線上に配置されていれば、制御部において上記実施例の可変分光素子のエタロン装置と同様の演算を行って制御を行うことができる。

【0079】

図11に示すエタロン装置は、上記実施例の可変分光素子のエタロン装置と異なり、外枠1を備えておらず、第1ピエゾ素子 4_1 、第2ピエゾ素子 4_2 、第3ピエゾ素子 4_3 、第4ピエゾ素子 4_4 が、それぞれ、エタロン装置を通過する光を遮らないようにして、固定基板 2_1 の対向する面上に固定されている。

10

【0080】

しかし、このような構成であっても、制御部において上記実施例の可変分光素子のエタロン装置と同様の演算を行って制御を行うことができる。

【実施例2】

【0081】

図12及び図13を用いて、本発明に係る可変分光素子であるエタロン装置を備えた可変分光素子の第2の実施例について説明する。なお、本実施例の可変分光素子のエタロン装置を構成する部材は、実施例1のエタロン装置を構成する部材と同じであるため、同じ構成を有する部材には、同一の符号を付すとともに、それらについての詳細な説明は省略する。また、本実施例の可変分光素子の制御部の構成や内部で行われる演算は、実施例1の可変分光素子の制御部で行われる演算とほぼ同じであるため、それらについての詳細な説明は省略する。

20

【0082】

なお、図12は、本実施例に係る可変分光素子のエタロン装置を示す断面図である。図13は、図12のエタロン装置の平面図である。

【0083】

図12及び図13を用いて、この可変分光素子のエタロン装置の構成について説明する。

30

【0084】

本実施例の可変分光素子のエタロン装置においては、実施例1の可変分光素子のエタロン装置と異なり、第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 と第1～第4静電容量センサ 3_1 、 3_2 、 3_3 、 3_4 が、一对の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、交互に等間隔となるように環状に配置されている。

【0085】

次に、本実施例に係る可変分光素子のエタロン装置における可動基板 2_2 の動作及びその制御について説明する。

【0086】

実施例1の可変分光素子においては、第1～第4静電容量センサ 3_1 、 3_2 、 3_3 、 3_4 の出力値から一对の光学基板2の対向する面の重心同士の間隔 x を算出し、第1、第3静電容量センサ 3_1 、 3_3 の出力値から第1の角度 θ_1 を算出し、第2、第4静電容量センサ 3_2 、 3_4 の出力値から第2の角度 θ_2 を算出する。そして、第1、第3ピエゾ素子 4_1 、 4_3 の駆動を重心同士の間隔 x と第1の角度 θ_1 に基づいて制御し、第2、第4ピエゾ素子 4_2 、 4_4 の駆動を重心同士の間隔 x と第2の角度 θ_2 に基づいて制御している。

40

【0087】

これに対し、本実施例の可変分光素子においては、第1～第4静電容量センサ 3_1 、 3_2 、 3_3 、 3_4 の全ての出力値を用いて重心同士の間隔 x 、第1の角度 θ_1 及び第2の角度 θ_2 を算出する。そして、第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 それぞれの駆動を重心同士の間隔 x 、第1の角度 θ_1 及び第2の角度 θ_2 に基づいて制御する。

50

【 0 0 8 8 】

このように、本実施例では、静電容量センサ 3 と対応するピエゾ素子 4 とが、一对の光学基板 2 の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、重なる位置に配置されていないが、静電容量センサ 3 が検出した一对の光学基板 2 の対向する面同士の面間隔を、第 1 ~ 第 4 ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 の位置における光学基板の面間隔 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 に変換しているため、実施例 1 と同一の制御を行うことができる。

【 0 0 8 9 】

したがって、本実施例 2 においても、実施例 1 の可変分光素子と同様に、本実施例の可変分光素子は、従来の可変分光素子に比べ、一对の光学基板 2 の面間隔が収束するまでの時間が非常に短い。そのため、本発明の可変分光素子は、連続的且つ高速に光学特性を変化させる場合であっても、正確に光学特性を変化させることができる。

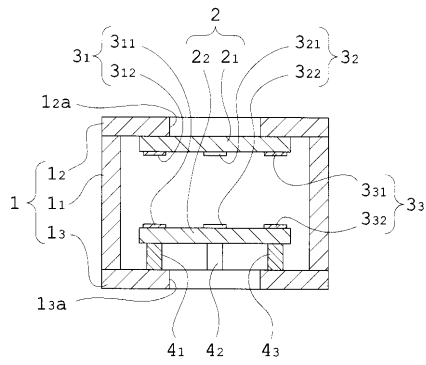
10

【 符号の説明 】

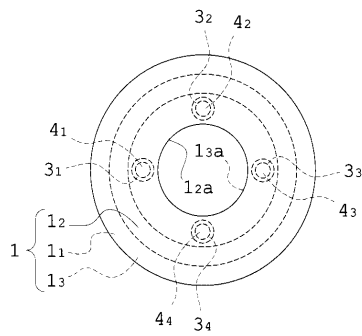
【 0 0 9 0 】

1	外枠	
1_1	筒状部材	
1_2 , 1_3	環状部材	
$1_2 a$, $1_3 a$	開口部	
2	一对の光学基板	
2_1	固定基板	
2_2	可動基板	20
3_1	第 1 静電容量センサ	
3_2	第 2 静電容量センサ	
3_3	第 3 静電容量センサ	
3_4	第 4 静電容量センサ	
3_{11} , 3_{12} , 3_{21} , 3_{22} , 3_{31} , 3_{32} , 3_{41} , 3_{42}	電極	
4_1	第 1 ピエゾ素子	
4_2	第 2 ピエゾ素子	
4_3	第 3 ピエゾ素子	
4_4	第 4 ピエゾ素子	
5_1	目標値入力部	30
5_2	センサ出力変換部	
5_3	差分値算出部	
5_4	指令値算出部	
5_5	指令値変換部	
G_1	固定基板の対向する面における重心	
G_2	可動基板の対向する面における重心	

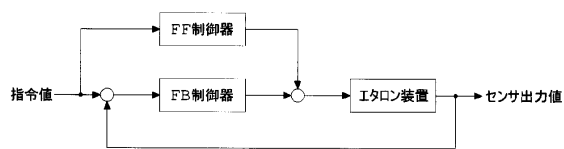
【図 1】



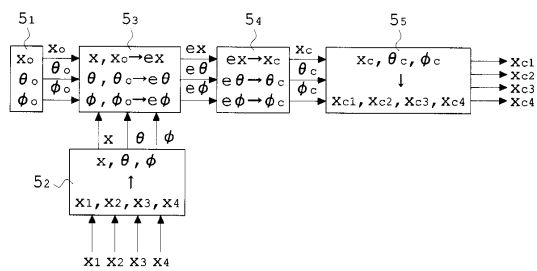
【図 2】



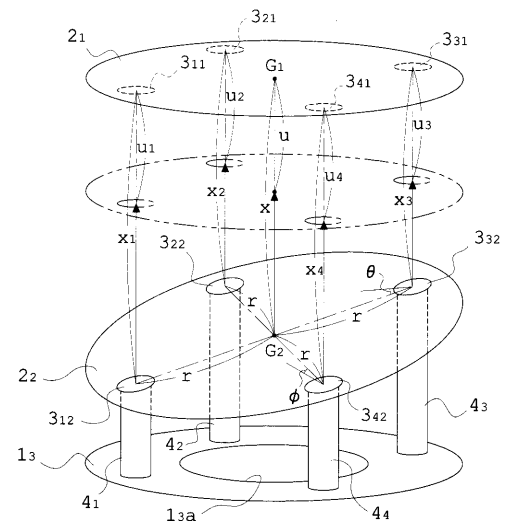
【図 4】



【図 5】

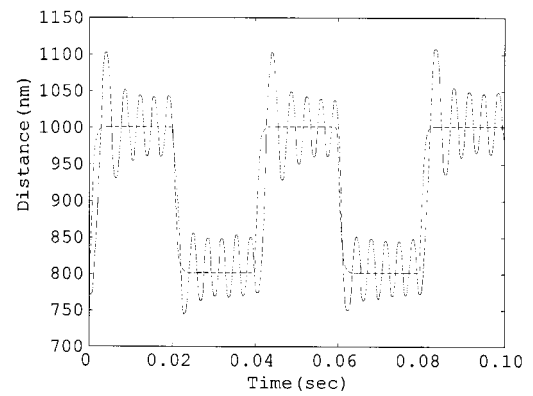


【図 3】

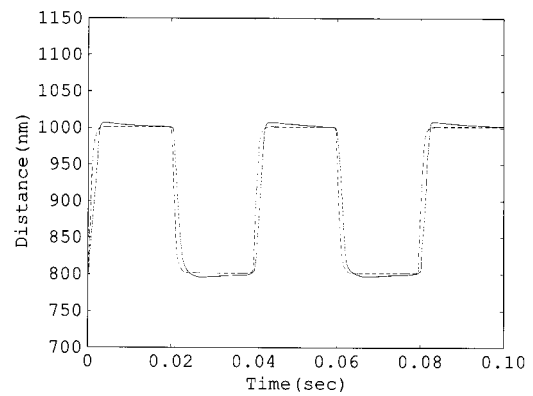


【図 6】

(a)

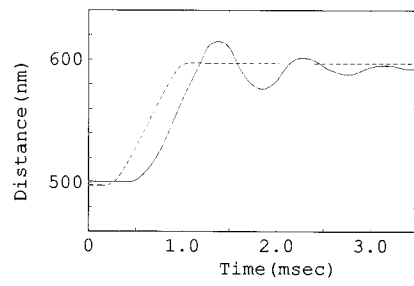


(b)

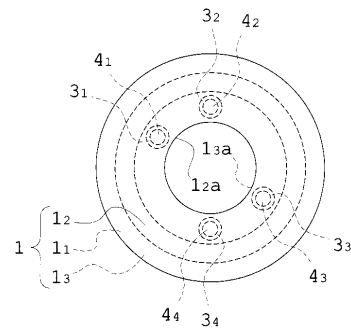


【図 7】

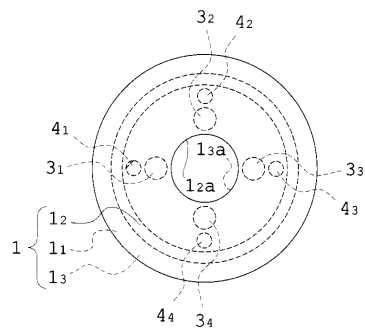
(a)



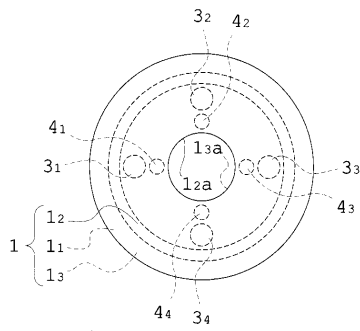
【図 8】



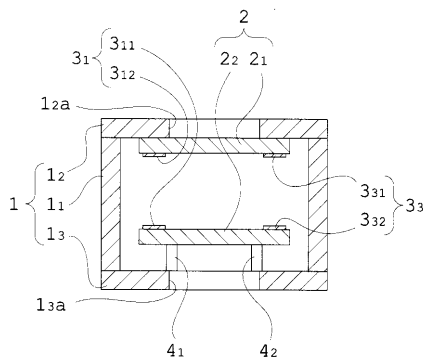
【図 9】



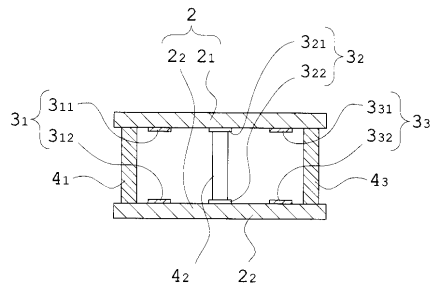
【図 10】



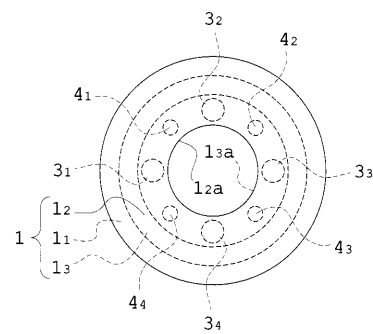
【図 12】



【図 11】



【図 13】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2008-129149(JP,A)
特開2008-197362(JP,A)
特開平6-241899(JP,A)
特開2010-224011(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B	26/00
G01J	3/26
G01B	7/30
G02B	5/28